

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-276055

(43)Date of publication of application : 30.09.1994

(51)Int.Cl.

H03H 21/00
H03H 17/02

(21)Application number : 05-085136

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 22.03.1993

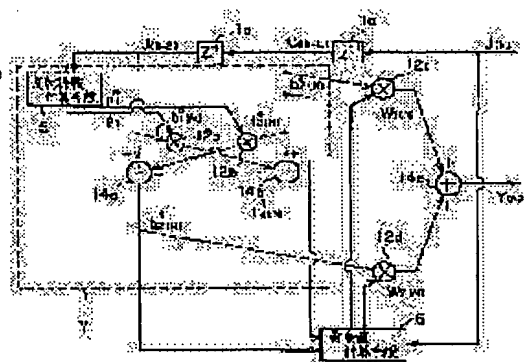
(72)Inventor : TANAKA AKINORI
WAKAYAMA SHIGEO
FUKUI TAKESHI

(54) ADAPTIVE NOISE ELIMINATING FILTER

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain the adaptive noise eliminating filter which improves the S/N characteristics of the output in a state wherein S/N as an input conditions is inferior and also reduces the distortion ratio of the output signal.

CONSTITUTION: This adaptive noise eliminating filter is equipped with a load value calculating means 6 which calculates a load value from an input signal and the output of a lattice type filter 7 on condition that the lattice type filter 7 is used, multiplying means 12c and 12d which multiply the output of the lattice type filter 7 by the load value found by the load value calculating means 6, and an adding means 14c which adds the multiplication results of the multiplying means 12c and 12d together.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-276055

(43)公開日 平成6年(1994)9月30日

(51)Int.Cl.⁵

H03H 21/00

17/02

識別記号

庁内整理番号

7037-5J

G 7037-5J

N 7037-5J

FI

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 1 FD (全 14 頁)

(21)出願番号 特願平5-85136

(22)出願日 平成5年(1993)3月22日

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 田中 明紀

尼崎市猪名寺2丁目5番1号 三菱電機マイコン機器ソフトウェア株式会社内

(72)発明者 若山 栄夫

尼崎市猪名寺2丁目5番1号 三菱電機マイコン機器ソフトウェア株式会社内

(72)発明者 福井 毅

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機株式会社通信機製作所内

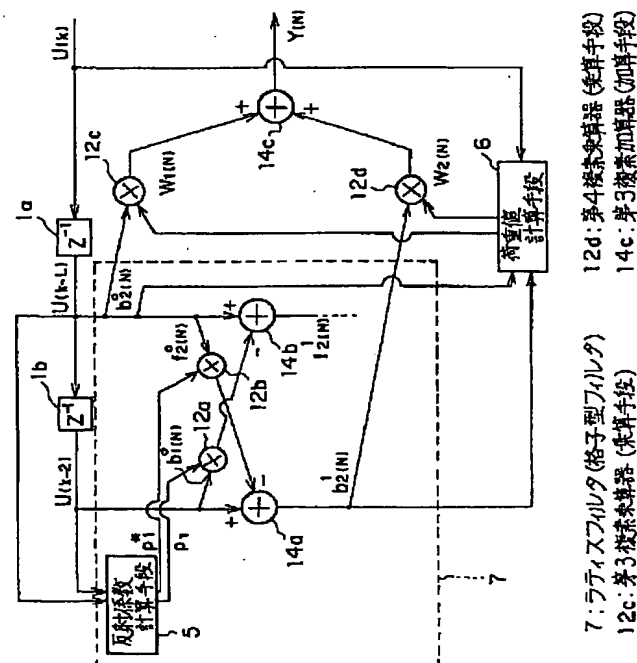
(74)代理人 弁理士 田澤 博昭 (外1名)

(54)【発明の名称】 適応雑音除去フィルタ

(57)【要約】

【目的】 入力条件としてのS/N比が劣悪な状況下で出力におけるS/N比の特性を改善できると共に出力信号の歪み率を小さくできる適応雑音除去フィルタを得ることである。

【構成】 格子型フィルタを用いることを前提とし、入力信号および上記格子型フィルタの出力を基に荷重値を計算し求める荷重値計算手段と、その荷重値計算手段により求めた荷重値を上記格子型フィルタの出力に乗ずる乗算手段と、その乗算手段の乗算結果を加算する加算手段とを備える。



12d: 第4乗算器 (乗算手段)
14c: 第3乗算器 (加算手段)

7: ラティスフィルタ (格子型フィルタ)
12c: 第3乗算器 (乗算手段)

【課題を解決するための手段】この発明に係る適応雑音除去フィルタは、格子型フィルタを有し、入力信号および上記格子型フィルタの出力を基に荷重値を計算し求める荷重値計算手段と、その荷重値計算手段により求めた荷重値を上記格子型フィルタの出力に乗ずる乗算手段と、その乗算手段の乗算結果を加算する加算手段とを備

えたものである。

【0023】

【作用】この発明における適応雑音除去フィルタは、入力定常であるときに格子型フィルタの出力は互に独立しており互に相関を持たない性質を有することから、入力信号および上記格子型フィルタの出力を基に荷重値を計算し求めることにより、上記荷重値の計算過程における雑音成分の相関の影響を軽減させてS/N比や歪み率の特性を改善する。

【0024】

【実施例】実施例1. 以下、この発明の一実施例を図について説明する。図1において、1aは第1遅延素子、1bは第2遅延素子、5はラティスフィルタにおける反射係数 ρ_1 、 ρ^*_1 の計算を行なう反射係数計算手段、12aは反射係数計算手段5の出力 ρ_1 と後向き予測誤差 $b^0_1(N)$ を乗じる第1複素乗算器、12bは反射係数計算手段5の出力 ρ^*_1 と前向き予測誤差 $f^0_2(N)$ を乗じる第2複素乗算器、14aは第2複素乗算器12bの出力と後向き予測誤差 $b^0_1(N)$ を加算する第1複素加算器、14bは第1複素乗算器12aの出力と前向き予測誤差 $f^0_2(N)$ を加算する第2複素加算器、12cは荷重値計算手段6の出力である荷重値 $W_1(N)$ と後向き予測誤差 $b^0_2(N)$ を乗じる第3複素乗算器（乗算手段）、12dは荷重値計算手段6の出力である荷重値 $W_2(N)$ と後向き予測誤差 $b^1_2(N)$ を乗じる第4複素乗算器（乗算手段）である。

【0025】14cは第3複素乗算器12cと第4複素乗算器12dの出力を加算する第3複素加算器、6は入力された入力信号 $U(K)$ とラティスフィルタ（格子型フィルタ）の後向き予測誤差 $b_m(N)$ から荷重値 $W_1(N)$ 、 $W_2(N)$ を計算する荷重値計算手段である。

$$f^1_2(N) = f^0_2(N) + \rho_1 \times b^0_1(N) \quad \dots\dots (3)$$

【0036】

【数4】

$$b^1_2(N) = b^0_1(N) + \rho^*_1 \times b^0_2(N) \quad \dots\dots (4)$$

【0037】次に、後向き予測誤差 $b^0_2(N)$ 、 $b^1_2(N)$ と入力信号 $U(K)$ を用いて、荷重値計算手段6により荷重値 $W_1(N)$ 、 $W_2(N)$ を算出する。

【0038】さらに荷重値 $W_1(N)$ と前記後向き予測誤差 $b^0_2(N)$ を第3複素乗算器12cにより乗じ、また荷重値 $W_2(N)$ と後向き予測誤差 $b^1_2(N)$ を第4複素乗算器12dより乗じ、これら第3複素乗算器12

$$Y(N) = \sum_{i=1}^2 W_i(N) \times b^{i-1}_2(N) \quad \dots\dots (5)$$

【0041】次に反射係数計算手段5の動作を図2のフローチャートを基に、また荷重値計算手段6の動作を図3のフローチャートを基に説明する。

【0042】最初に図2のフローチャートを基に反射係数計算手段5の動作を説明すると、まずステップST1

【0026】反射係数計算手段5と第1複素乗算器12aと第2複素乗算器12b、さらに第1複素加算器14aと第2複素加算器14bによりラティスフィルタ7が構成されている。

【0027】ここで、反射係数 ρ^*_1 は、 ρ_1 の複素共役を表す。

【0028】次に動作について説明する。

【0029】入力信号 $U(K)$ はディジタル化された複素信号であり、遅延素子1aにより1単位時間遅延された $U(K-1)$ となる。

【0030】この $U(K-1)$ はラティスフィルタの前向き予測誤差 $f^0_2(N)$ であり、後向き予測誤差でもある。

【0031】さらに $U(K-1)$ は、遅延素子1bにより遅延され、 $U(K-2)$ となりラティスフィルタの後向き予測誤差 $b^1_2(N)$ となる。

【0032】このようにして得られた $U(K-1)$ 、 $U(K-2)$ を用いて反射係数計算手段5により反射係数 ρ_1 、 ρ^*_1 を導出する。

【0033】そして、この反射係数 ρ_1 、 ρ^*_1 と前向き予測誤差 $f^0_2(N)$ 、後向き予測誤差 $b^0_1(N)$ を用いて、第1複素乗算器12aと第2複素乗算器12bと第1複素加算器14aと第2複素加算器14bにより前向き予測誤差 $f^1_2(N)$ と後向き予測誤差 $b^1_2(N)$ を得る。

【0034】これら前向き予測誤差 $f^1_2(N)$ と後向き予測誤差 $b^1_2(N)$ の導出は下記の式(3)と(4)による。

【0035】

【数3】

cと第4複素乗算器12dの出力を第3複素加算器（加算手段）14cにより加算し、出力 $Y(N)$ を得る。

【0039】この場合、出力 $Y(N)$ は、下記の式(5)により導出される。

【0040】

【数5】

において反射係数計算手段5への入力 $U(K-1)$ と $U(K-2)$ の積を計算する。

【0043】ステップST2およびステップST3では、 $U(K-1)$ と $U(K-2)$ の夫々の絶対値の2乗を計算し、さらにステップST4に進んで反射係数 ρ_1

を計算する。

【0044】反射係数 ρ_1 の算出は、下記の式(6)を用いて行なう。

$$\rho_1 = \frac{U(K-1) \times U(K-2)}{|U(K-1)|^2 + |U(K-2)|^2} \quad \dots\dots (6)$$

【0046】ステップST5では、上記した式(6)により得られた反射係数 ρ_1 の複素共役である ρ_1^* を求め、ステップST6では算出した2つの反射係数 ρ_1 、 ρ_1^* を出力する。

【0047】次に、図3のフローチャートを基に荷重値計算手段6の動作を説明する。

【0048】まずステップST7において、後向き予測誤差 $b^0_2(N)$ と入力信号 $U(K)$ の乗算を行なう。

$$W_1(N) = \frac{b^0_2(N) \times U(K)}{|b^0_2(N)|^2}$$

【0052】ステップST10では、後向き予測誤差 $b^1_2(N)$ と入力信号 $U(K)$ の乗算を行ない、さらにステップST11で後向き予測誤差 $b^1_2(N)$ の絶対値の2乗を計算し、ステップST12ではこれらの計算結果

$$W_2(N) = \frac{b^1_2(N) \times U(K)}{|b^1_2(N)|^2}$$

【0055】最後のステップST13では、式(7)と式(8)で得られた荷重値 $W_1(N)$ 、 $W_2(N)$ を出力する。

【0056】このようにして得られた荷重値 $W_1(N)$ は第3複素乗算器12cにおいて後向き予測誤差 $b^0_2(N)$ と乗算され、この乗算結果は第3複素加算器14cに出力される。

【0057】一方、荷重値 $W_2(N)$ は第4複素乗算器12dにおいて後向き予測誤差 $b^1_2(N)$ と乗算され、この乗算結果は第3複素加算器14cに出力される。

【0058】第3複素加算器14cでは、第3複素乗算器12cから出力された乗算結果と第4複素乗算器12dから出力された乗算結果とが加算されて、この加算結果が $Y(N)$ として出力される。

【0059】図7は、以上説明したような信号処理を行なう適応雑音除去フィルタにおいて入力 S/N 比をパラメータにして出力 S/N 比を実験的に得てグラフ化したときの特性図である。

【0060】また、図8は従来の適応雑音除去フィルタにおいて入力 S/N 比をパラメータにして出力 S/N 比を実験的に得たときの特性図である。

【0061】これら図7と図8に示された出力 S/N 比についての特性から明らかなように、ほぼ全ての入力 S/N 条件に対し図7に示す出力 S/N 比の特性が図8に示す出力 S/N 比の特性よりも優れている。

【0062】すなわち、入力条件に関係なく従来の適応

【0045】

【数6】

【0049】ステップST8では、後向き予測誤差 $b^0_2(N)$ の絶対値の2乗を計算し、さらにステップST9では、これらの計算結果を用いて荷重値 $W_1(N)$ を導出する。

【0050】この導出は、下記の式(7)を用いて行なわれる。

【0051】

【数7】

$\dots\dots (7)$

を用いて荷重値 $W_2(N)$ を導出する。

【0053】導出には次の式を用いる。

【0054】

【数8】

$\dots\dots (8)$

雑音除去フィルタに比べて本実施例の適応雑音除去フィルタのほうが S/N 比の改善効果が高い。

【0063】図9は、本実施例の適応雑音除去フィルタにおいて入力 S/N 比をパラメータにした歪み率を実験的に得てグラフ化したときの特性図である。

【0064】また、図10は従来の適応雑音除去フィルタにおいて入力 S/N 比をパラメータにした歪み率を実験的に得てグラフ化したときの特性図である。

【0065】これら図9と図10に示された歪み率についての特性から明らかなように、ほぼ全ての入力 S/N 条件に対し図9に示す歪み率の特性が図10に示す歪み率の特性よりも優れている。

【0066】すなわち、従来の適応雑音除去フィルタに比べて入力条件に関係なく本実施例の適応雑音除去フィルタのほうが歪み率の改善効果が高い。

【0067】実施例2. なお、上記実施例1では荷重値を2つに限定したが、図4に示すように段数を増やすことが可能である。

【0068】これにより、荷重値演算の入力数が増加し、荷重値の計算精度の向上が期待できる。

【0069】この結果、雑音除去性能が向上する可能性がある。

【0070】以下、図4を基にこの発明について説明する。

【0071】図4において図1と同一の部分については同一の符号を付し説明を省略する。

【0072】図において1c, 1dは遅延素子、12c～12pは複素乗算器、14c～14mは複素加算器（加算手段）、5a～5cは反射係数計算手段、7aはラティスフィルタ（格子型フィルタ）である。

【0073】次に動作について説明する。

【0074】まず、遅延素子1a～1dを用いて入力信号U(K)から信号U(K-1), U(K-2), U(K-3), U(K-4)を得る。

【0075】これが第0段目の前向き予測誤差f

$$f^0_i(N) = b^0_i(N)$$

[i = 1, 2, 3, 4]

【0079】式(9)により表わされる前向き予測誤差 $f^0_1(N)$ と後向き予測誤差 $b^0_1(N)$ を用いて反射係数 ρ_1 , ρ^*_1 の計算を反射係数計算手段5aで行なう。

【0080】さらに、反射係数計算手段5aで求められた反射係数 ρ_1 と後向き予測誤差 $b^0_1(N) \sim b^0_3(N)$ の乗算を複素乗算器12f, 12d, 12bにおいて行なうと共に、反射係数計算手段5aで求められた反射係数 ρ^*_1 と前向き予測誤差 $f^0_2(N) \sim f^0_4(N)$ の乗算を複素乗算器12e, 12c, 12aにおいて行なう。

$$f^1_j(N) = f^0_j(N) + \rho_1 \times b^0_{j-1}(N)$$

..... (10)

[j = 2, 3, 4]

【0085】

【数11】

$$b^1_j(N) = b^0_{j-1}(N) + \rho^*_1 \times f^0_j(N)$$

..... (11)

[j = 2, 3, 4]

【0086】同様にして、第2段目の出力〔前向き予測誤差 $f^2_K(N)$ と後向き予測誤差 $b^2_K(N)$ 〕は下記の式(12), (13)により表わされる。

$$f^2_K(N) = f^1_K(N) + \rho_2 \times b^1_{K-1}(N)$$

..... (12)

[K = 3, 4]

【0088】

【数13】

$$b^2_K(N) = b^1_{K-1}(N) + \rho_2 \times f^1_K(N)$$

..... (13)

[K = 3, 4]

【0089】また、同様にして第3段目の出力は下記の式(14), (15)により表わされる。

【0090】

【数14】

$$f^3_4(N) = f^2_3(N) + \rho_3 \times b^2_3(N)$$

..... (14)

【0091】

【数15】

$f^0_1(N) \sim f^0_4(N)$ および後向き予測誤差 $b^0_1(N) \sim b^0_4(N)$ となる。

【0076】ここでも実施例1と同様に時間Kは入力信号を基準とし、時間Nは出力信号を基準としたものである。

【0077】また、第0段目の前向き予測誤差と後向き予測誤差の関係は下記の式(9)で表わされる。

【0078】

【数9】

..... (9)

【0081】さらに、複素乗算器12a～12fの夫々の出力と前向き予測誤差 $f^0_i(N)$ および後向き予測誤差 $b^0_i(N)$ とを複素加算器14a～14fにより夫々加算する。

【0082】この結果得られたものが第1段目の前向き予測誤差 $f^1_j(N)$ ($j=2, 3, 4$)と後向き予測誤差 $b^1_j(N)$ ($j=2, 3, 4$)である。

【0083】この動作は、下記の式(10)及び(11)により表わされる。

【0084】

【数10】

$$b^3_4(N) = b^3_3(N) + \rho^*_3 \times f^2_3(N) \quad \dots (15)$$

【0092】そして、式(8)、(10)、(12)で得られた後向き予測誤差 $b^1_4(N)$ 、 $b^2_4(N)$ 、 $b^3_4(N)$ および後向き予測誤差 $b^0_4(N)$ と入力信号 $U(K)$ とを用いて荷重値計算手段において荷重値 $W_1(N)$ 、 $W_2(N)$ 、 $W_3(N)$ 、 $W_4(N)$ の計算を行なう。

【0093】このようにして求めた荷重値計算手段の出力と、荷重値計算に用いた後向き予測誤差 $b^0_4(N)$ 、

$$Y(N) = \sum_{i=1}^4 W_i(N) \times b^{i-1}_4(N) \quad \dots (16)$$

【0096】次に反射係数計算手段5a～5cの動作を図5のフローチャートを基に、また荷重値計算手段6の動作を図6のフローチャートを基に説明する。

【0097】最初に図5のフローチャートを基に反射係数計算手段の動作を説明すると、まずステップST14では、第*i*段目の予測誤差の内、第*K*番目の前向き予測誤差 $f^i_K(N)$ と第*K*−1番目の後向き予測誤差 $b^{i-1}_{K-1}(N)$ の乗算を行ない、次のステップST15では第*K*番目の前向き予測誤差 $f^i_K(N)$ の絶対値の2乗を乗算する。

【0098】さらにステップST16では、第*K*−1番目の後向き予測誤差 $b^{i-1}_{K-1}(N)$ の絶対値の2乗を計算する。

【0099】ステップST17では、反射係数計算手段

$$\rho_i = \frac{\sum_{K=2}^4 f^{i-1}_K(N) \times b^{i-1}_{K-1}(N)}{\sum_{K=2}^4 (|f^{i-1}_K(N)|^2 + |b^{i-1}_{K-1}(N)|^2)} \quad \dots (17)$$

$$\{i = 1, 2, 3\}$$

【0103】続くステップST22では、式(17)により得られた反射係数 ρ_1 の複素共役 ρ^*_1 を算出し、ステップST23では、第3段目までの処理を終了したか否かの判定を行ない、ステップST24では、反射係数 ρ_1 、 ρ^*_1 を出力する。

【0104】次に、図6のフローチャートを基に荷重値計算手段6の動作を説明する。

【0105】まず、ステップST25では第*i*段目の後向き予測誤差 $b^i_4(N)$ と入力信号の乗算を行ない、

$$W_{i+1}(N) = \frac{b^i_4(N) \times U(K)}{|b^i_4(N)|^2} \quad \dots (18)$$

$$\{i = 0, 1, 2, 3\}$$

【0108】続くステップST28では、第3段目までの処理を終了したか否かの判断を行ない、ステップST29では、ステップST28での判定結果が「Yes」であるときに荷重値 $W_1(N)$ 、 $W_2(N)$ 、 $W_3(N)$ 、 $W_4(N)$ を出力し、さらにステップST30では、ステップST28における判定結果が「No」のときは次の段の処理を行なう。

$b^1_4(N)$ 、 $b^2_4(N)$ 、 $b^3_4(N)$ を夫々複素乗算器12m～12pにおいて乗算し、複素乗算器(乗算手段)12m～12pの夫々の出力を複素加算器14mにおいて加算し出力 $Y(N)$ を得る。

【0094】この動作は下記の式(16)により表わされる。

【0095】

【数16】

の出力がステップST14～ステップST16までの処理を全て完了しているか否かの判定を行なう。

【0100】続くステップST18では、第*i*段目におけるステップST14での演算結果をたし込み、またステップST19では第*i*段目におけるステップST15での演算結果をたし込み、ステップST20では第*i*段目におけるステップST16での演算結果をたし込み、ステップST21では第*i*段目の反射係数 ρ_i の導出を行なう。

【0101】この反射係数 ρ_i の導出は下記の式(17)を用いて行なう。

【0102】

【数17】

続くステップST26では、第*i*段目の後向き予測誤差 $b^i_4(N)$ の絶対値の2乗を計算し、ステップST27では、ステップST25とステップST26の夫々の算出結果から第*i*+1段目の荷重値 $W_{i+1}(N)$ を導出する。

【0106】この荷重値の導出は下記の式(18)により行なう。

【0107】

【数18】

【0109】このようにして得られた荷重値は複素乗算

器12m~12pにおいて夫々後向き予測誤差と乗算され、この乗算結果は複素加算器14mに出力される。

【0110】複素加算器14mでは、複素乗算器12m~12pから夫々出力された乗算結果を加算し、この加算結果がY(N)として出力する。

【0111】

【発明の効果】この発明によれば、入力信号および上記格子型フィルタの出力を基に荷重値を計算し求め、この荷重値と上記格子型フィルタの出力とを乗算し、この乗算結果を加算して出力を得るように構成したので、受信信号や受信した信号に付加されている雑音に関する情報がなくても、適応的にS/N比や歪み率の特性を改善できる適応雑音除去フィルタが得られる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例1による適応雑音除去フィルタを示す構成図である。

【図2】この発明の実施例1による適応雑音除去フィルタの反射係数計算手段の動作を示すフローチャートである。

【図3】この発明の実施例1による適応雑音除去フィルタの荷重値計算手段の動作を示すフローチャートである。

【図4】この発明の実施例2による適応雑音除去フィルタを示す構成図である。

【図5】この発明の実施例2による適応雑音除去フィルタの反射係数計算手段の動作を示すフローチャートである。

【図6】この発明の実施例2による適応雑音除去フィルタの荷重値計算手段の動作を示すフローチャートである。

【図7】実施例1または実施例2の適応雑音除去フィルタによる入力S/Nをパラメータにして出力S/Nを実験的に得てグラフ化したときの特性図である。

【図8】従来の適応雑音除去フィルタによる入力S/Nをパラメータにして出力S/Nを実験的に得てグラフ化したときの特性図である。

【図9】実施例1または実施例2の適応雑音除去フィルタによる歪み率を入力S/Nをパラメータにして実験的に得てグラフ化したときの特性図である。

【図10】従来の適応雑音除去フィルタによる歪み率を入力S/Nをパラメータにして実験的に得てグラフ化したときの特性図である。

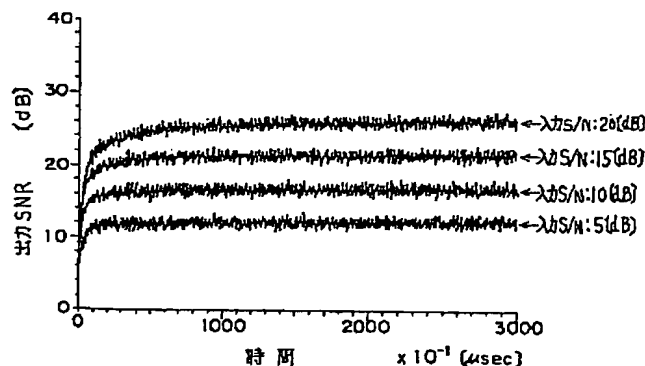
【図11】従来の適応雑音除去フィルタを示す構成図である。

【図12】従来の適応雑音除去フィルタにおける荷重計算器を示す構成図である。

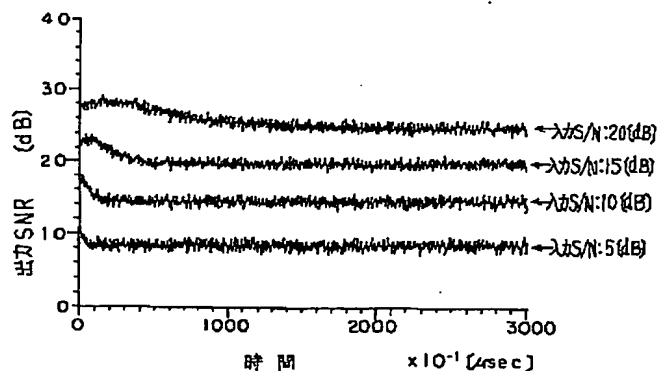
【符号の説明】

- 12c 第3複素乗算器（乗算手段）
- 12d 第4複素乗算器（乗算手段）
- 12m~12p 複素乗算器（乗算手段）
- 14c 第3複素加算器（加算手段）
- 14m 複素加算器（加算手段）
- 6 荷重値計算手段
- 7, 7a ラティスフィルタ（格子型フィルタ）

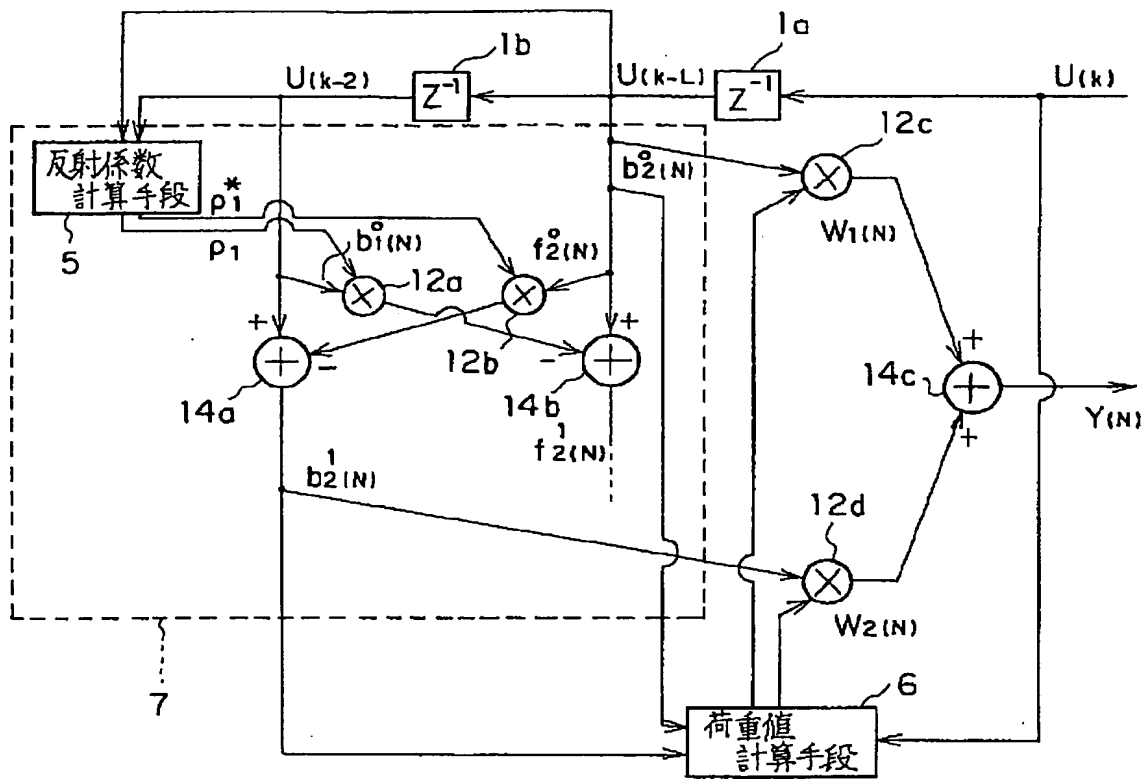
【図7】



【図8】



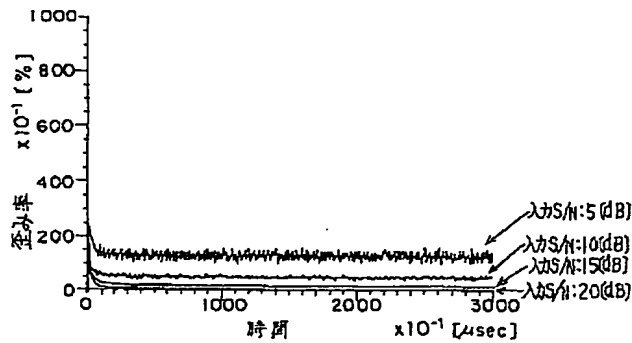
【図1】



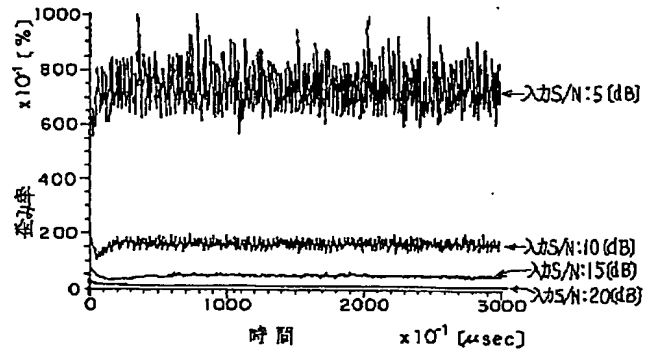
7: ラティスフィルタ (格子型フィルタ)
12c: 第3複素乗算器 (乗算手段)

12d: 第4複素乗算器 (乗算手段)
14c: 第3複素加算器 (加算手段)

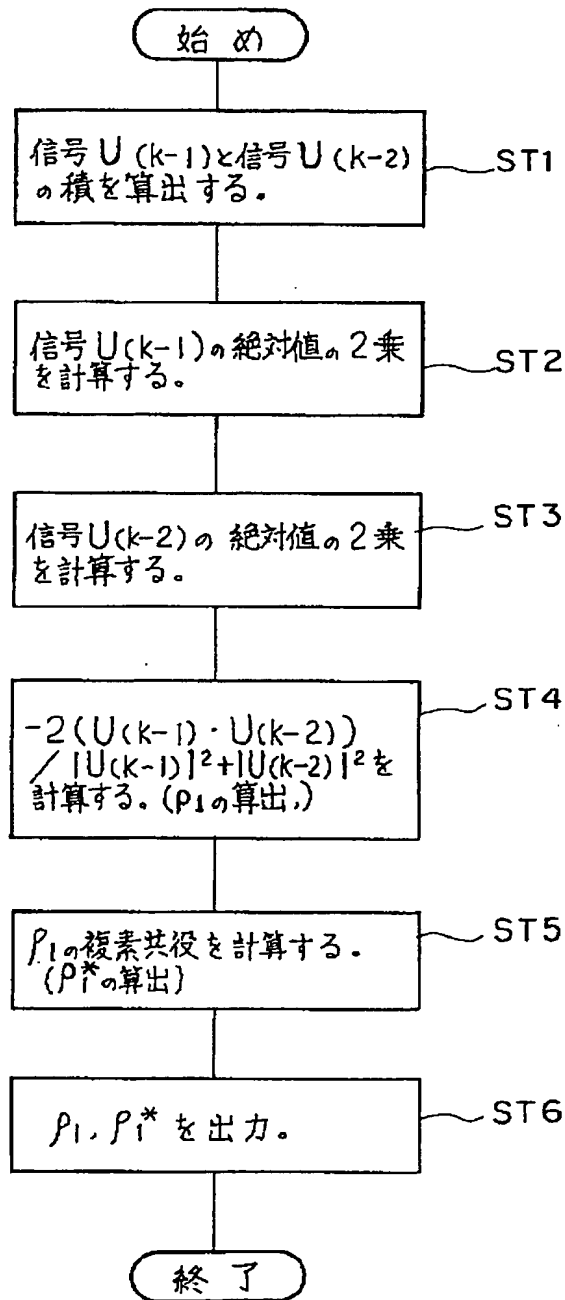
【図9】



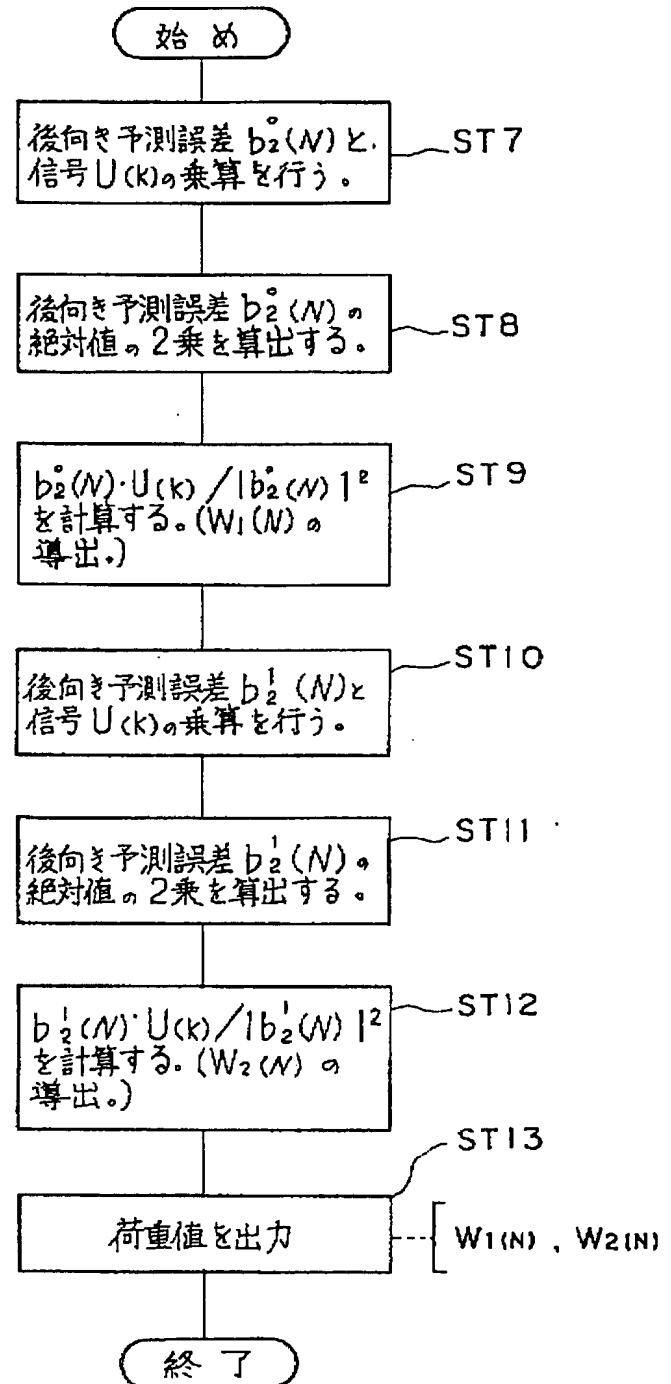
【図10】



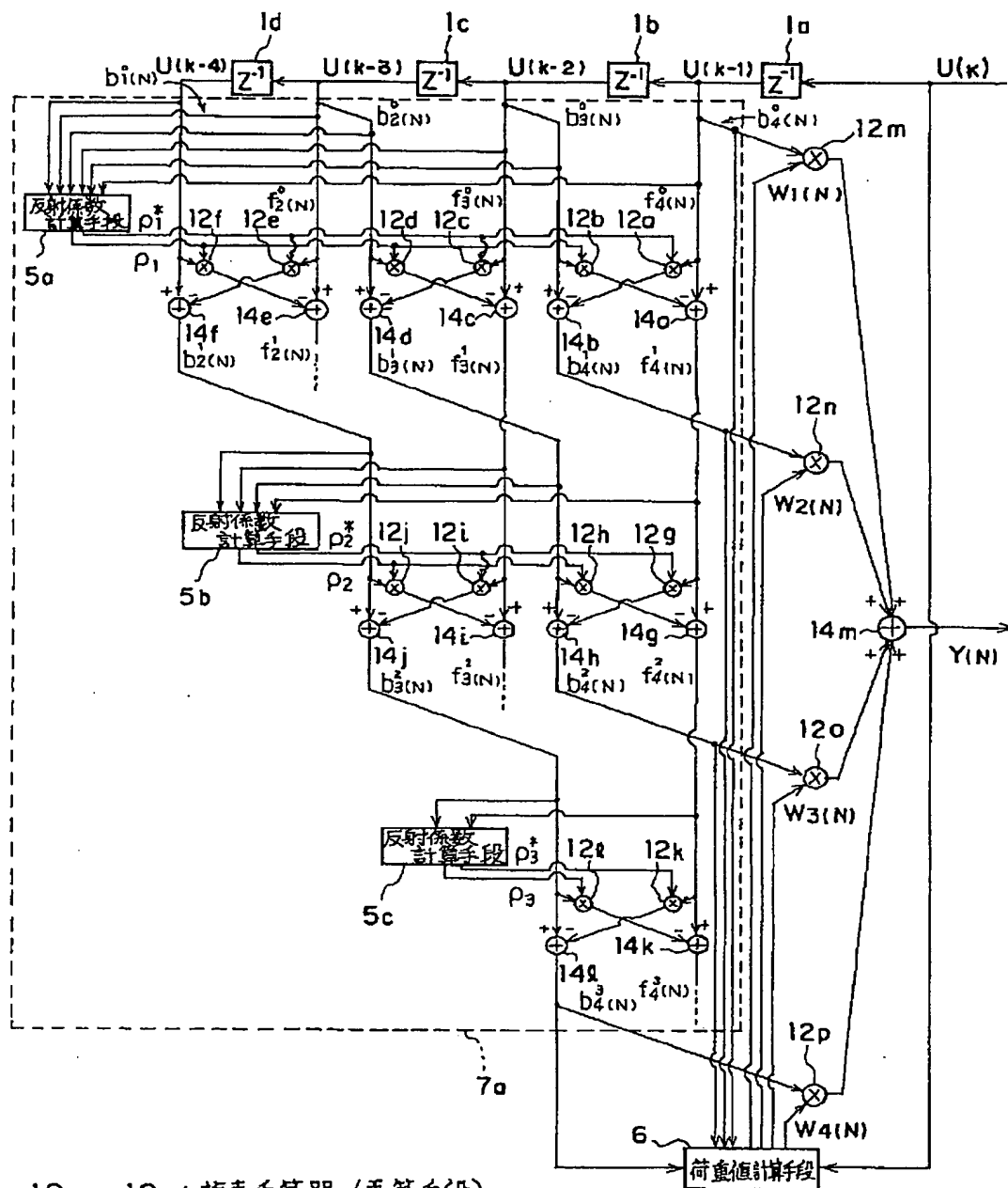
【図2】



【図3】



【図4】

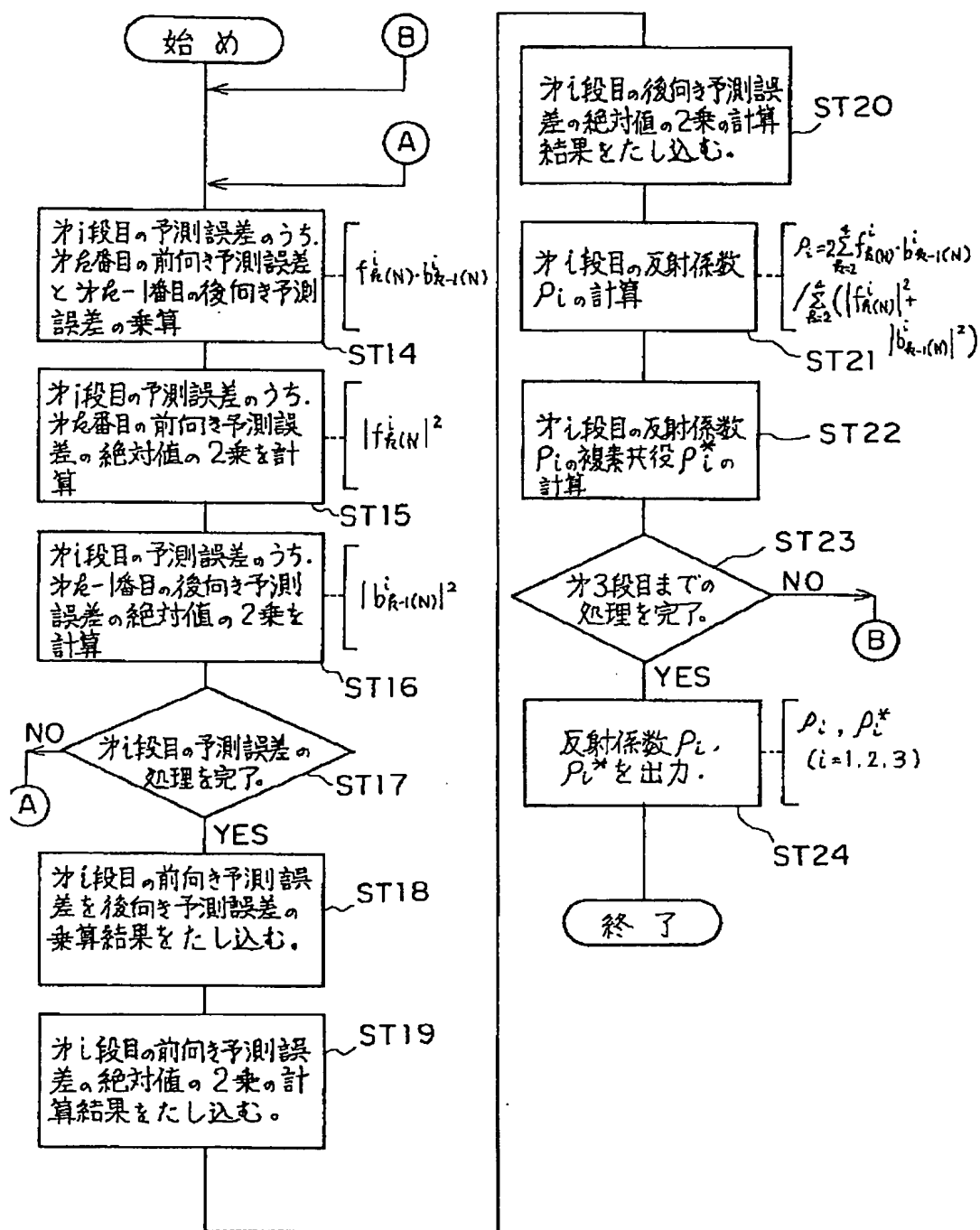


12m～12p: 複素乗算器 (乗算手段)

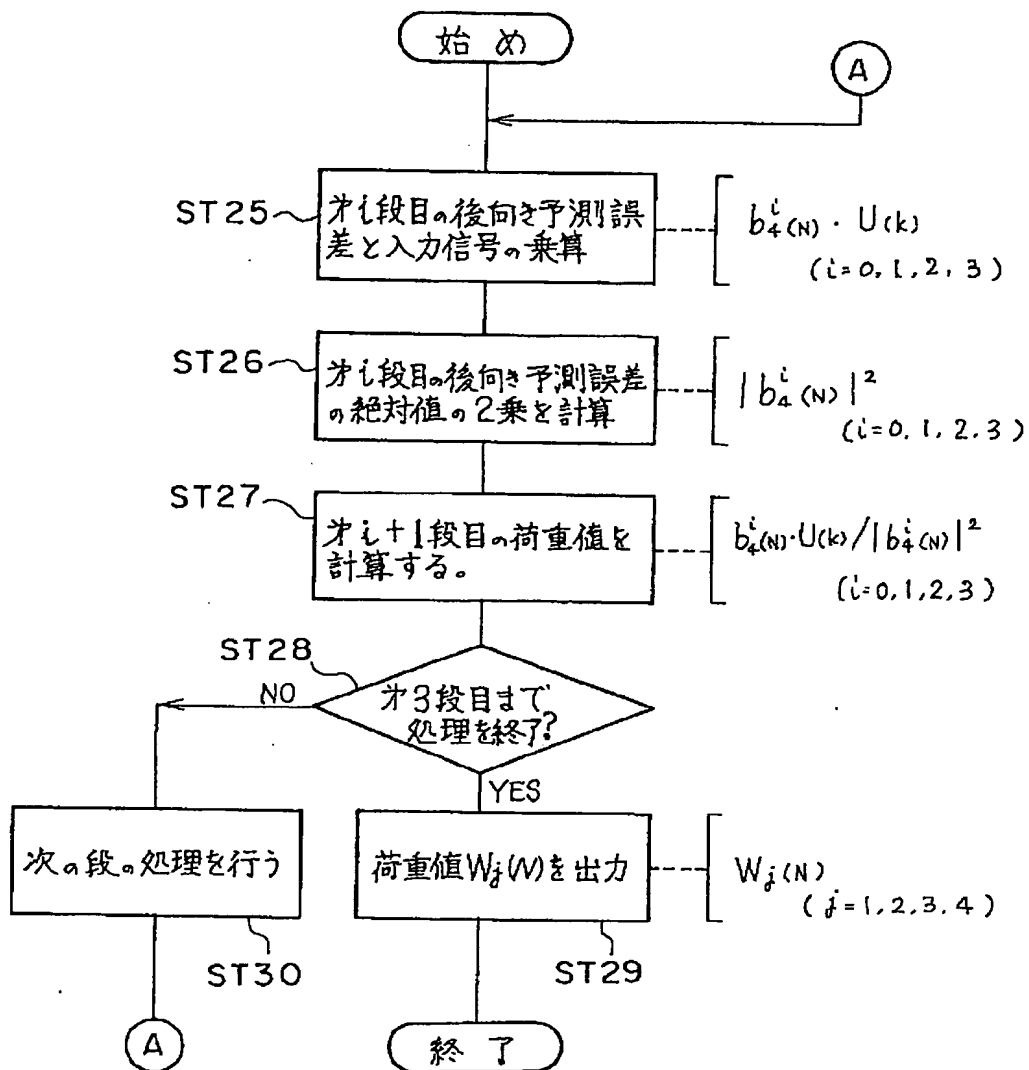
14m: 複素加算器 (加算手段)

7a: ラティスフィルタ (格子型フィルタ)

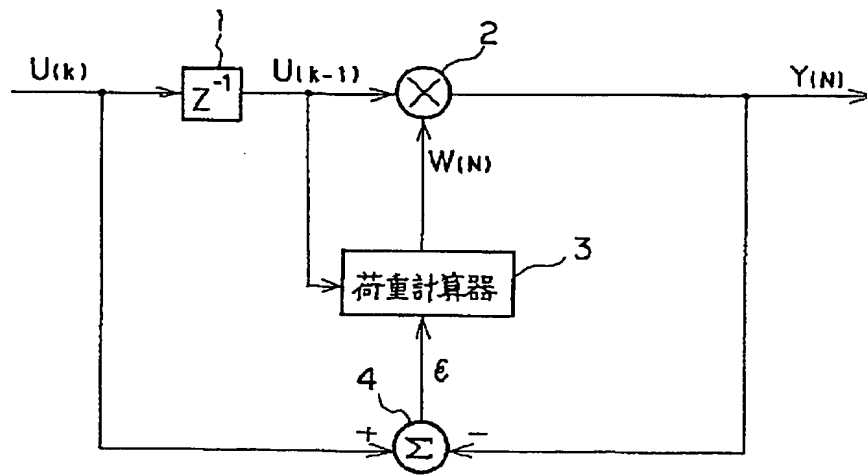
【図5】



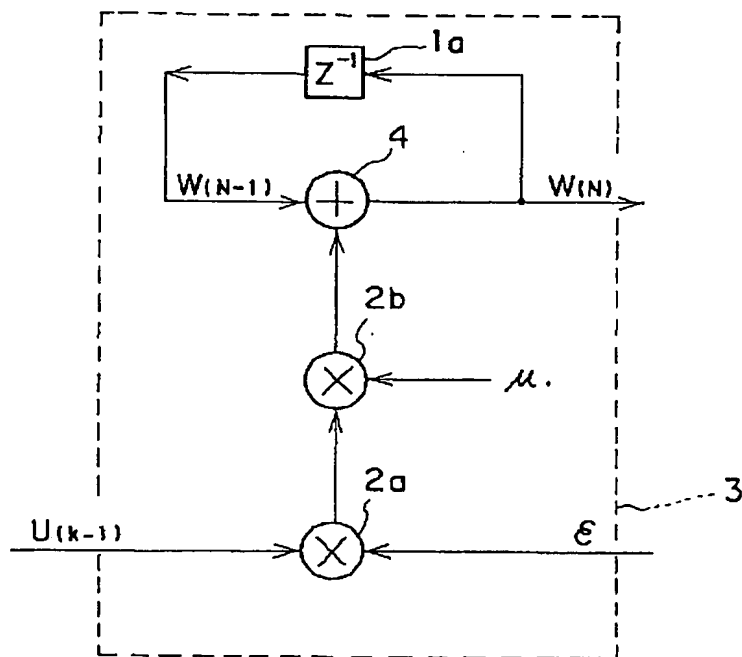
【図6】



【図11】



【図12】



【手続補正書】

【提出日】平成5年7月14日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0088

【補正方法】変更

【補正内容】

【0088】

【数13】

$$b^2_K(N) = b^1_{K-1}(N) + \rho^*_2 \times f^1_K(N) \quad \cdots (13)$$

$$(K = 3, 4)$$

【手続補正2】

【補正内容】

【補正対象書類名】明細書

【0107】

【補正対象項目名】0107

【数18】

【補正方法】変更

$$W_{i+1}(N) = \frac{b^1_4(N) \times U(K)}{|b^1_4(N)|^2} \quad \cdots (18)$$

$$(i = 0, 1, 2, 3)$$